

## EFISIENSI DARI KARAKTERISTIK GETARAN MOTOR LISTRIK MENGUNAKAN FAST FOURIER TRANSFORM DAN NEURAL NETWORK

**Jufrizel<sup>1</sup>, Weni Puji Hastuti<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Dan Teknologi, UIN SUSKA RIAU

e-mail: juwe\_habib@yahoo.com

<sup>2</sup>Jurusan Administrasi Negara, Fakultas Ekonomi Dan Ilmu Sosial, UIN SUSKA RIAU

e-mail: weni\_riau@yahoo.com

### ABSTRAK

Untuk menentukan karakteristik getaran motor listrik suatu pompa sentrifugal merupakan hal yang sangat menarik dalam menentukan kondisi dari instrumen mekanik dari motor listrik pompa sentrifugal tersebut. Getaran dari motor listrik pompa sentrifugal ini dapat memberikan informasi yang penting apakah instrumen mekaniknya berada dalam kondisi normal, misalignment, atau unbalance.. Hal ini harus dilakukan analisa melalui analisa getaran dengan menggunakan sensor akselerometer ADXL330. Sensor akselerometer ADXL330 merupakan salah satu alternatif sensor getaran yang memiliki kelebihan bentuk fisik yang kecil, relatif lebih murah, dan daya yang dibutuhkan kecil. Dalam penelitian ini, untuk mendeteksi sinyal getaran dalam kondisi misalignment, unbalance dan looseness maka digunakan sensor akselerometer ADXL330 sebagai sensor getaran yang akan mendeteksi perbedaan sinyal getaran tersebut. Metode analisa getaran ini menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) yang berfungsi untuk merubah suatu sinyal dalam daerah waktu ke dalam daerah discrete frekwensi yang terpisah. Neural Network Backpropagation digunakan untuk mengidentifikasi data getaran secara on-line melalui pelatihan.

Dalam penelitian ini, dibuat prototipe pompa sentrifugal untuk melihat pola vibrasi sinyal fft terhadap jenis-jenis kondisi abnormal. Ada tiga jenis kondisi abnormal yang dibahas dalam penelitian ini yaitu normal, misalignment, atau unbalance. Pada kondisi unbalance amplitudo frekuensi putaran 3 kali amplitudo kondisi unfault pada frekuensi yang sama. Untuk kondisi misalignment, harmonik yang muncul pada penelitian ini yaitu frekuensi harmonik 2 dan 3.

**Kata kunci:** Akselerometer, Fast Fourier Transform, Karakteristik, Neural Network, Pompa Sentrifugal

### ABSTRACT

*To determine electric motor vibration characteristic a centrifugal pump constitutes absorbing thing deep determine condition of mechanical instrument of motor electric that centrifugal pump. Vibration of centrifugal pump electricity motor this gets to give important information if it mechanical instrument lies in condition normal, misalignment, or unbalance. It shall do analysis via morphological vibration by using of sensor of accelerometer ADXL330. Accelerometer ADXL330 of censor constitute one of vibration censor alternative that have physical form excess that little, cheaper relative, and needed energy little. In this research, to detect vibration signal in condition of normaly, misalignment, and unbalance therefore utilized by accelerometer ADXL330 of censor as censor of vibration who will detect distinctive that vibration signal. This vibration analytic-method utilizes Fast Transform's Fourier (FFT) one that functioning to remove a signal time into discrete's region frequency that separatedly. Neural Network of Backpropagation is utilized to identify on-line of vibration data via training. In this research, utilize prototype of centrifugal pump completed with protection vibration system to analyze FFT signal vibration of normal and abnormal conditions. There are three abnormal condition of vibration spectrum are normaly, misalignment, and unbalance. At unbalance condition, amplitude of speed frequency is 3 times bigger than amplitude of unfault condition at same frequency. For misalignment condition, the harmonic frequency number 2 and 3 was appearing.*

**Key Words:** Accelerometer, centrifugal pump, characteristic, Fast Fourier Transform, Neural Network

### PENDAHULUAN

Efisiensi dari getaran motor listrik mutlak diperlukan baik dilihat dari segi ekonomis maupun dari segi teknis. Dari segi ekonomis adalah bisa menghemat biaya

listrik, hemat energi sehingga mencegah terjadinya pemborosan biaya dan energy serta dari segi teknis adalah bisa menjaga umur mesin motor listrik tersebut agar tetap awet dan bisa lebih lama lagi

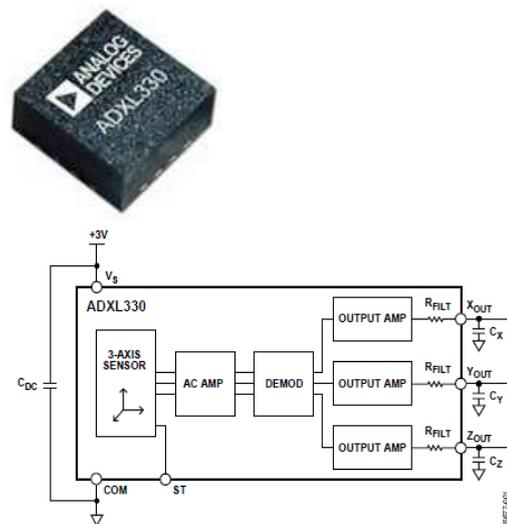
penggunaannya. Seiring dengan kebijakan pemerintah hemat energi hemat biaya.

Mesin listrik merupakan mesin produksi yang sering digunakan dalam dunia industri. Ketergantungan pemakaian mesin-mesin listrik yang terus menerus ini mengakibatkan motor listrik akan mengalami penurunan efisiensi kerja dan bahkan mungkin mengalami kerusakan. Gejala-gejala kerusakan yang sering terjadi adalah misalignment, unbalance dan looseness pada motor listrik tersebut. Begitu juga dengan besarnya getaran yang dihasilkan motor listrik dapat dijadikan sumber analisa kerusakan motor tersebut karena getaran yang berlebihan dapat melemahkan daya maupun menimbulkan suara yang tidak diinginkan seperti noise.

Keselamatan, keandalan, dan efisiensi perputaran suatu mesin menjadi perhatian utama di dalam industri. Tugas dari monitoring kondisi dan mendiagnosa kerusakan dari kesalahan perputaran mesin adalah sangat penting sekali, tetapi ini sering menyulitkan (Sumanto, 1993). Ini disebabkan karena kurangnya arus start besar sekitar 3 sampai 5 kali dari arus nominal dan putarannya relatif konstan atau sulit diatur. Pada hal dalam pemakaian motor listrik kadang-kadang yang diinginkan putaran yang dapat berubah sesuai dengan putaran beban, dengan pengaturan perpindahan putaran yang halus (smooth) dan range lebar, misalnya pada blower atau exhaust fan penyegar udara pada laboratorium gedung kimia dan lain-lain. Hal tersebut diperlukan dengan tujuan antara lain untuk mengurangi besarnya arus start, meredam getaran dan hentakan mekanis saat starting. Karena itu banyak dilakukan usaha bagaimana cara mengatur putaran motor induksi tersebut. Salah satunya adalah dengan cara mengubah frekuensi catu daya yang masuk ke motor untuk mengatur kecepatan motor (A.E. Fitzgerald, Djoko Cahyanto, 1992). Pada umumnya kecepatan putar motor induksi yang akan diumpambalikan ke pengendali diukur dengan menggunakan sensor kecepatan seperti tachogenerator atau encoder. Namun sering penggunaan sensor kecepatan ini dinilai kurang efektif, karena selain harganya yang relatif mahal, penggunaan sensor kecepatan juga dipengaruhi oleh kondisi tinggi rendahnya putaran motor, sehingga untuk

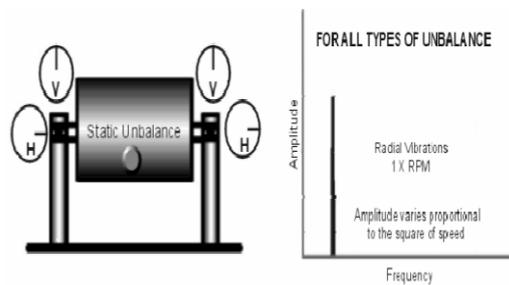
putaran motor rendah sensor tidak mampu mendeteksi putaran dengan presisi (Akhmad Musafa, 2007).

ADXL330 ini memiliki jangkauan pengukuran minimal  $\pm 3g$  (gravitasi). Sinyal keluaran tegangan analog yang dihasilkan oleh sensor ini berbanding lurus dengan percepatan. Akselerometer dapat mengukur percepatan statis gravitasi dalam aplikasi deteksi kemiringan dan juga mengukur percepatan dinamis yang dihasilkan dari gerakan, kejutan/goncangan atau getaran.



Gambar 1. Sensor ADXL330 dan blok diagramnya

Ketidakseimbangan untuk seterusnya akan kita sebut *unbalance*. Untuk semua tipe unbalance, FFT spektrum akan menunjukkan puncak gelombang pada frekuensi 1x rpm vibrasi dan amplitudo vibrasi pada frekuensi 1x rpm akan bervariasi proporsional terhadap kuadrat kecepatan putaran. Jika *unbalance* terjadi maka puncak gelombang pada frekuensi 1x rpm mendominasi spektrum vibrasi.



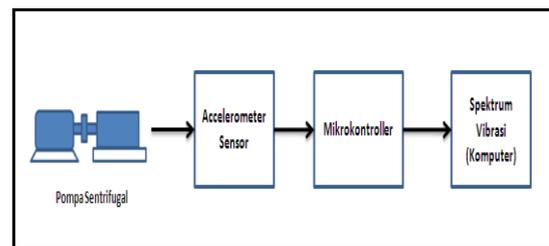
Gambar 2. Lokasi pengukuran vibrasi dan pembacaan FFT yang menunjukkan puncak vibrasi karena unbalance (Birajdar, Ravindra, 2009)

Fast Fourier Transform (FFT) diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan diferensial parsial, dan untuk algoritma dengan mengalikan bilangan bulat besar. FFT mengambil suatu discrete-signal dalam daerah waktu dan mengubah bentuk sinyal tersebut ke dalam daerah discrete frekwensi yang terpisah. Tanpa suatu discrete-time ke discrete-frequency transform, kita tidak akan bisa menghitung Fourier transform dengan suatu mikroprosesor atau DSP yang berbasis sistem. Hal ini menjadi kecepatan dan discrete yang alami dari FFT untuk menganalisa suatu spektrum sinyal. Dalam penelitian ini dilakukan studi pengkajian untuk merancang dan membuat suatu sistem sensor getaran motor listrik dengan menggunakan sensor akselerometer ADXL330 sebagai sensor getaran yang kemudian sinyal output dari sensor ini akan dianalisa dengan menggunakan Fast Fourier Transform sehingga menjadi diskrit frekuensi. Output dari Fast Fourier Transform sebagai diskrit frekuensi akan diproses oleh Neural Network sehingga akan diketahui jenis-jenis kerusakan yang ada pada motor listrik tersebut.

#### BAHAN DAN METODE

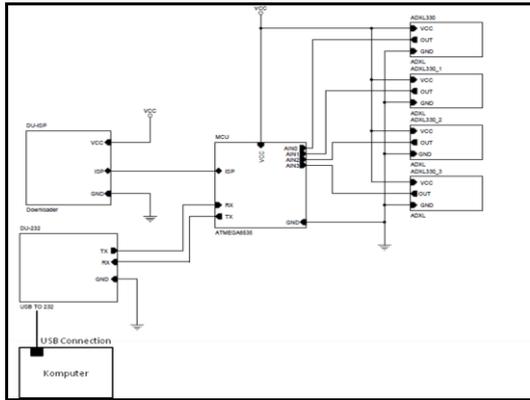
Rancang bangun sistem deteksi getaran terdiri dari rancang bangun secara hardware maupun software. Rancang bangun sistem deteksi getaran secara hardware terdiri dari mesin pompa sentrifugal, sensor akselerometer ADXL330, Mikrokontroler ATMEGA 32 yang didalamnya sudah

terdapat ADC dan komunikasi serial RS-232 dan komputer yang berisikan program software yang berfungsi untuk proses pengambilan data getaran dan pemrosesan data getaran dengan menggunakan metode FFT dan identifikasi getaran menggunakan Neural network. Perancangan sistem hardware dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok hardware seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



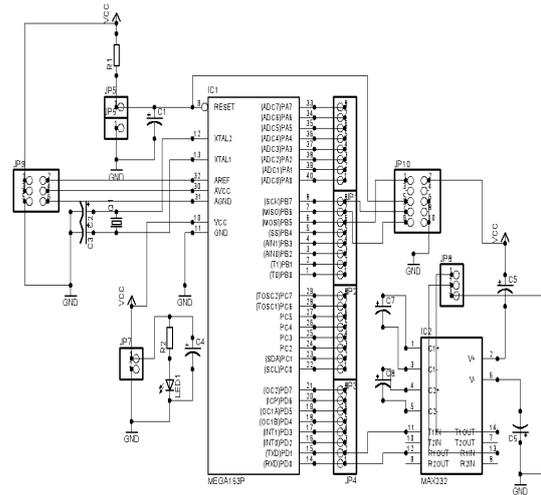
Gambar 3. Diagram blok hardware sistem analisa vibrasi

Sensor akselerometer yang digunakan adalah ADXL330. Sensor ini mempunyai kemampuan untuk mengukur vibrasi minimal 3g. Sinyal keluaran ADXL330 ini berupa tegangan AC yang sebanding proporsional terhadap besarnya vibrasi yang dihasilkan pompa. Semakin besar vibrasi yang ditimbulkan pompa maka semakin besar tegangan keluaran akselerometer. Tegangan ini kemudian dikirim ke dalam mikrokontroler untuk diubah menjadi data digital. Dari untuk diolah menjadi spektrum vibrasi. Mikrokontroler yang digunakan adalah atmega32. Adapun diagram perkawatan dari sensor sampai ke komputer adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Diagram perkawatan dari akselerometer sampai ke komputer

Untuk keperluan akuisisi data, mikrokontroler digunakan untuk mengkonversi sinyal analog ke digital atau berfungsi sebagai ADC (Analog to Digital Converter), juga sekaligus mengirimkan sinyal digital ke komputer melalui komunikasi serial. Sinyal getaran yang dideteksi oleh akselerometer sebelum diproses oleh PC menggunakan teknik FFT, terlebih dahulu dilakukan konversi dengan menggunakan ADC yang ada dalam modul Mikrokontroler DT AVR Atmega 32. Mikrokontroler DT AVR Atmega 32 memiliki arsitektur RISC 10-bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock. AVR berteknologi Reduced Instruction Set Computing (RISC), sedangkan seri MCS51 berteknologi Complex Instruction Set Computing (CISC). Untuk proses konversi yang dimanfaatkan dari AVR ini adalah ADC sebanyak 2 channel sebagai pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dari sensor getaran akselerometer serta USART sebagai penghubung/antarmuka antara mikrokontroler dengan PC. Gambar 5 adalah skema sistem mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 5. Skematik sistem mikrokontroler atmega 32

Proses inialisasi ADC meliputi proses penentuan clock, tegangan referensi, format output data dan mode pembacaan. Register yang perlu diset nilainya adalah ADMUX (ADC Multiplexer Selection Register), ADCSRA (ADC Control and Status Register A) dan SFIOR (Special Function IO Register).

Untuk ADC Clock Frequency yang digunakan adalah 345.600 KHz, untuk tegangan referensi yang digunakan adalah AVCCpin, mode operasi yang digunakan adalah mode free running dan data bit yang berisikan nilai data pengukuran dengan ukuran 8 bit yang ditampilkan. Karena ADC di seting pada 8 bit maka output yang dihasilkan adalah dari 0 sampai 256. Jika masukan analog 0 volt maka keluaran hasil konversi adalah 0, jika masukan sama dengan referensi maka hasil konversi adalah 256. Berikut ini adalah program inialisasi dan pembacaan ADC pada CodeVision AVR:

```
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 345.600 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x85;
```

Untuk transfer data dari Hardware ke komputer memerlukan sarana komunikasi yang disebut USB to RS-232 secara serial, dan mikrokontroler juga memiliki sarana komunikasi data serial yang disebut USART

(Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter). Baudrate yang digunakan adalah 115200 bps. Untuk satu kali pengiriman serial, ada beberapa bit yang berperan yaitu start bit, data bits, parity bit, dan stop bit. Untuk setingan komunikasi serial yang digunakan adalah 1 start bit, 8 data bit, 1 stop bit, dan no parity bit. Pada penerima, bit yang pertama kali akan diterima adalah start bit. Kemudian disusul dengan data bit yang berisikan nilai data pengukuran dengan ukuran 8 bit. Dimana bit LSB diterima terlebih dahulu, dan bit MSB di akhir. Berikut ini adalah cuplikan program inialisasi serial komunikasi pada CodeVisionAVR:

```
// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 115200
UCSRA=0x00;
UCSRB=0xD8;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x05;
```

Personal Computer (PC) yang berisikan program software yang berfungsi untuk proses pengambilan data getaran dan pemrosesan data getaran dengan menggunakan metode FFT dan identifikasi getaran menggunakan Neural network.

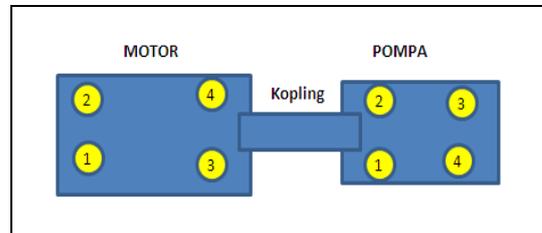
Kondisi Unfault atau kondisi normal didefinisikan sebagai kondisi normal operasi pompa dan pompa dapat beroperasi secara kontinyu. Salah satu ciri kondisi ini yaitu kopling pompa dapat dengan mudah diputar secara manual dengan tangan.



Gambar 6. Hubungan kopling pompa dan motor

Kondisi unbalance yaitu kondisi dimana terjadi ketidakseimbangan pada poros pompa atau motor ketika berputar. Berikut

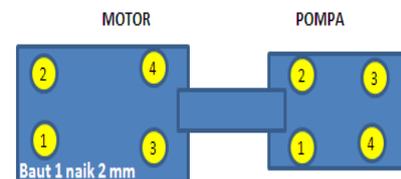
ini adalah gambar posisi-posisi baut pada base pompa dan motor pada prototipe penelitian ini.



Gambar 7. Posisi baut pada prototipe base pompa dan motor

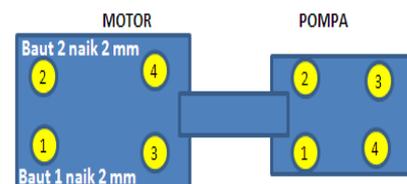
Pada gambar di atas, angka-angka 1-4 menunjukkan posisi baut pada base motor dan pompa dimana pompa dan motor masing-masing mempunyai 4 baut. Motor akan dikondisikan *unbalance* dengan cara menaikkan satu atau dua titik pada base motor. Hal ini dilakukan dengan cara pengaturan putaran baut.

- Kondisi 1 : Base motor dinaikan pada baut no.1 sebanyak 1 putaran baut (2mm)



Gambar 8. Kondisi 1

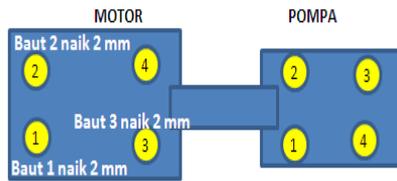
- Kondisi 2 : Base motor dinaikan pada baut no.1 sebanyak 1 putaran baut (2mm) dan pada baut no.2 sebanyak 1 putaran baut (2 mm)



Gambar 9. Kondisi 2

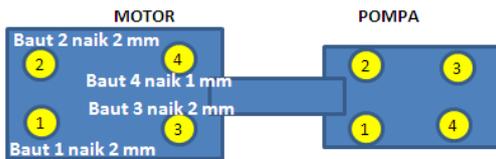
- Kondisi 3 : Base motor dinaikan pada baut no.1 sebesar 1 putaran baut (2mm) dan pada baut no.2 sebesar 1

putaran baut (2 mm) dan pada baut no.3 sebesar 1 putaran baut (2 mm)



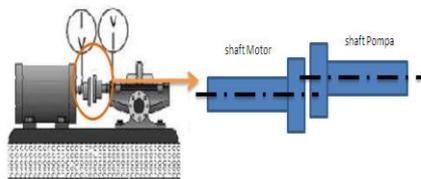
Gambar 10. Kondisi 3

- Kondisi 4 : Base motor dinaikan pada baut no.1 sebesar 1 putaran baut (2mm), pada baut no.2 sebesar 1 putaran baut (2 mm), pada baut no.3 sebesar 1 putaran baut (2 mm) dan pada baut no.4 sebesar 0.5 putaran baut (1 mm).



Gambar 11. Kondisi 4

Model kondisi Misalignment (Tidak Selurus) didapat dengan cara menurunkan base motor dari kondisi normal.



Gambar 12. Model kondisi Misalignment (Tidak Selurus)

Dengan menggunakan Neural Network maka dilakukan penggolongan pola-pola spektrum vibrasi. Pola-pola ini ada empat jenis yaitu kondisi unfault (Normal), unbalance (ketidakseimbangan), looseness (longgar/kendur) dan *misalignment* (ketidaklurusan).

Keluaran untuk Neural Network pola spectrum vibrasi ini adalah mengikuti grafik berikut ini.

Tabel 1. Pola-pola yang dihasilkan oleh Neural Network

Input	Target		
Unfault (Normal)	1	0	0
Unbalance (Ketidakseimbang)	0	1	0
Misalignment (Ketidaklurusan)	0	0	1

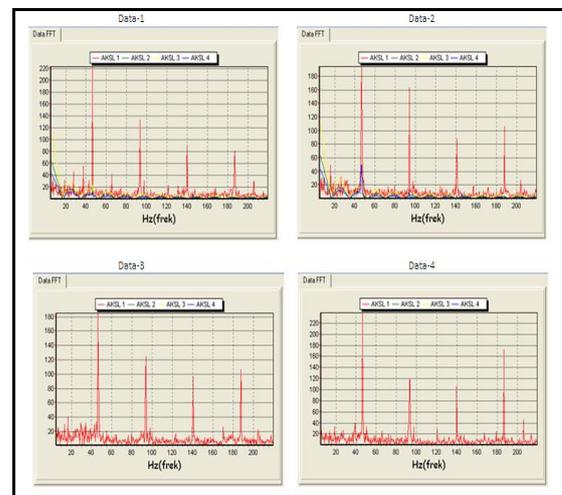
Untuk mendapatkan bobot-bobot pembelajaran akan dilakukan pada pemrograman matlab. Jenis Neural Network yang akan dipakai adalah *back propagation*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelatihan Neural Network yang digunakan adalah jenis Neural Network backpropagation. Proses pelatihan yang diberikan untuk Neural Network ini adalah diberikan contoh pola untuk 3 kondisi yaitu kondisi normal, misalignment, dan unbalance.

#### Spektrum Kondisi Unfault (Normal)

Dari sisi mekanik, dimana kondisi kopling pompa dapat diputar dengan mudah secara manual dengan tangan. Pada penelitian ini, diambil beberapa data pada saat pompa dinyatakan dalam kondisi normal. Data-data spektrum frekuensi pada kondisi normal adalah sebagai berikut.



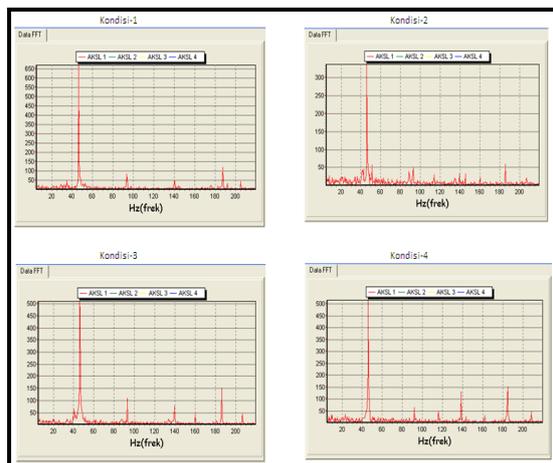
Gambar 13. Spektrum frekuensi Kondisi Normal

Dari spektrum frekuensi data-data pada gambar 13 dapat dilihat bahwa amplitudo tertinggi pada 220g terjadi pada frekuensi putaran poros 46.7 Hz. Sementara pada frekuensi-frekuensi harmonik-1, 2 dan 3 spektrum tetap muncul dengan amplitudo yang semakin turun.

Dari ke-empat data spektrum frekuensi di atas dapat disimpulkan bahwa pada kondisi normal, amplitudo dengan jangkauan 180~220g terjadi pada frekuensi putaran 46.7 Hz.

**Spektrum Kondisi Unbalance (Ketidakseimbangan)**

Spektrum frekuensi yang hasil dari penelitian ini untuk kondisi *unbalance* adalah sebagai berikut.



Gambar 14. Spektrum frekuensi kondisi Unbalance

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa dengan menaikkan base motor pada posisi kondisi 1 setinggi 2 mm maka akan menyebabkan kondisi *unbalance*. Hal ini disebabkan karena dengan turunnya satu titik menyebabkan putaran poros menjadi tidak seimbang. Pada kondisi ini, amplitudo pada frekuensi putaran menjadi 3 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi normal pada frekuensi yang sama. Sementara itu, spektrum pada frekuensi harmoniknya tetap muncul dan nilai amplitudonya tidak berubah hampir sama seperti pada kondisi normal.

Untuk kondisi 2, pola spektrum frekuensi yang dihasilkan masih sama dengan spektrum kondisi *unbalance*. Namun amplitudo pada frekuensi putaran menurun

dan lebih kecil jika dibandingkan pada kondisi 1. Hal ini disebabkan oleh posisi non drive-end motor (kiri dan dan kanan) mempunyai level tinggi yang sama. Dan hanya berbeda dengan sisi drive-end motor.

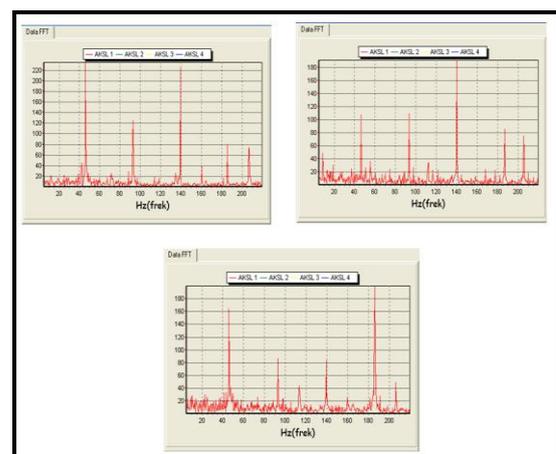
Untuk kondisi 3, amplitudo pada frekuensi putaran menjadi tinggi kembali mencapai lebih dari dua kali tinggi amplitudo jika dibandingkan dengan kondisi normal pada frekuensi yang sama. Hal ini dikarenakan hanya satu titik yang tidak level seperti kondisi 1 sehingga menyebabkan ketidakseimbangan yang tinggi.

Pada spektrum kondisi 4, amplitudo yang dihasilkan pada frekuensi putaran sama dengan kondisi 3. Hal ini dikarenakan titik no.4 masih belum sama levelnya dengan ketiga titik lainnya

Dari analisis ke-empat spektrum frekuensi untuk kondisi *unbalance* diatas, dapat disimpulkan bahwa amplitudo pada frekuensi putaran menjadi hampir 3 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan amplitudo pada kondisi normal. Sementara amplitudo pada frekuensi-frekuensi harmonik tetap dan hampir sama dengan kondisi normal.

**Spektrum Kondisi Misalignment (Tidak Selurus)**

Hasil spektrum frekuensinya adalah sebagai berikut.



Gambar 15. Spektrum vibrasi kondisi misalignment

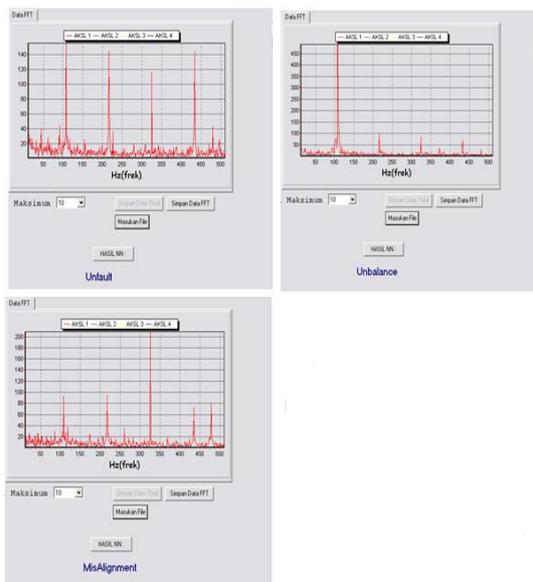
Dari gambar 15 ini dapat dilihat bahwa spektrum pada frekuensi harmonik-2 (140 Hz) mempunyai besar amplitudo sama

dan 2 kali dari amplitudo frekuensi putaran (46.7 Hz). Sementara amplitudo pada frekuensi harmonik lainnya tetap muncul dan besarnya sama dengan frekuensi putaran.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Giovanni Betta (IEEE, 2002) yang menyatakan bahwa kondisi *misalignment* akan menyebabkan amplitudo pada frekuensi harmonik akan dominan dan lebih tinggi dari frekuensi putaran. Pada penelitian ini frekuensi harmonik-2 dan 3 yang muncul dominan.

#### Klasifikasi menggunakan Neural Network

Berikut ini pola-pola yang diberikan untuk spektrum vibrasi :



Gambar 16. Hasil NN untuk ke-3 pola spektrum vibrasi

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya amplitudo pada spektrum frekuensi sangat menentukan kondisi abnormal operasi pompa dan motor. Untuk kondisi unbalance, besarnya amplitudo pada frekuensi putaran 3 kali amplitudo kondisi normal pada kondisi yang sama.
2. Dengan menerapkan sistem monitor vibrasi berbasis FFT online maka

dapat diketahui lebih awal kondisi-kondisi *fault* sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Dari hasil pengukuran pada pompa sentrifugal empat stage dapat dilihat bahwa walaupun kondisi pompa masih normal tetapi sudah menunjukkan model-model kondisi *fault*, hanya saja masih mempunyai amplitudo dibawah 180g sehingga tidak mempengaruhi unjuk kerja pompa.

3. Model-model kondisi *fault* dapat muncul secara bersamaan dalam suatu pengukuran data spektrum frekuensi.
4. Efisiensi dari getaran motor listrik mutlak diperlukan baik dilihat dari segi ekonomis maupun dari segi teknis. Dari segi ekonomis adalah bisa menghemat biaya listrik, hemat energi sehingga mencegah terjadinya pemborosan biaya dan energi serta dari segi teknis adalah bisa menjaga umur mesin motor listrik tersebut agar tetap awet dan bisa lebih lama lagi penggunaannya. Seiring dengan kebijakan pemerintah hemat energi hemat biaya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih yang tak terhingga kepada Mohammad Ishak ST.,MT yang dengan kesabaran yang tulus ikhlas telah membantu penulis mulai dari awal penelitian sampai pada selesainya penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, R. Supangat, J. Grieger, N. Ertugrul and W. L. Soong, (2004), "A Baseline Study for On-Line Condition Monitoring of Induction Machines", Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2004).
- Akhmad Musafa, 2007 Kompensasi Kenaikan Tahanan Rotor Berdasarkan Kesalahan Arus Magnetisasi Pada Simulasi Pengendalian Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan, Tesis, Universitas Indonesia, 2007.

A.E. Fitzgerald, Djoko Cahyanto, 1992, "Mesin-Mesin Listrik," Erlangga, Edisi ke empat, Jakarta, 1992.

Birajdar R, Pati R, Khanzode K, Kirloskar Brothers Ltd., (2009), "*VIBRATION AND NOISE IN CENTRIFUGAL PUMPS - SOURCES AND DIAGNOSIS METHODS*", 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure, Portugal, 20-24 July 2009,

Brian T. Holm-Hansen, Robert X. Gao, (2000), "Vibration Analysis of a Sensor-Integrated Ball Bearing", Vol. 122, Hal 384 ~ 392, Transactions of the ASME

Orhan Sadettin, Aktu Nizami , Veli C, (2005), "*Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies*", NDT&E International 39 (2006) 293–298.

H. Shreve Dennis, (1995), "SIGNAL PROCESSING FOR EFFECTIVE VIBRATION ANALYSIS", IRD Mechanalysis, Inc Columbus, Ohio.

Ruuska, Mikko, H. Andersson, Paul, Dubrovnik, (2003), "*SPINDLE BEARING MONITORING USING ACOUSTIC EMISSION*", Proceedings, XVII IMEKO World Congress, 2164~2167.

Reimche W, Südmersen U, Pietsch Or, Scheer C, Bach F, (2003), "*BASICS OF VIBRATION MONITORING FOR FAULT DETECTION AND PROCESS CONTROL*". University of Hannover, Institute of Material Science, Department of NDT.

Sumanto, "Motor Listrik Arus Bolak-balik," Andi Offset Yogyakarta, Edisi pertama, 1993.